台灣農業研究 (J. Taiwan Agric. Res.) 60(2):125–138 (2011)

# 不同栽植期對水稻田雜草相之影響 [1]

蕭巧玲[2] 楊純明[2,3] 李裕娟[2]

## 摘　要

蕭巧玲、楊純明、李裕娟。2011。不同栽植期對水稻田雜草相之影響。台灣農業研究 60:125–138。

全球暖化及氣候快速變遷現象已對農作生產與農業環境帶來全面性的衝擊，農田雜草族群種類與數量也發生明顯的變化。本研究於 2009 年在行政院農委會農業試驗所農場 (臺中市霧峰區) 兩期稻作期間，以春分/大暑為中心之溫度梯度進行 10 次水稻栽植期，探討溫度及光照對水稻田雜草相之影響。每個栽植期皆同時種植 4 個良質稻種，即桃園 4 號 (TY 4)、臺稉 9 號 (TK 9)、臺農 71 號 (TNG 71) 及高雄 145 號 (KH 145)，且均於插秧後 28 天進行雜草取樣及調查族群種類與數量。又收集試區鄰近農試所一級農業氣象測站之氣象測值，計算累加日均溫 (ADMAT)、累加日照時數 (ADSH) 及累加日射量 (ADIR) 等氣象變因數值，以分析稻田雜草相之氣象環境效應及暖化情境的影響。結果顯示試驗區內雜草科別數及種別數有隨著 ADMAT 增加而上升的趨勢，尤以 TY 4 及 TK 9 田區達顯著水準；ADSH 對雜草種類之影響呈現不顯著的凹型二次曲線分佈，ADIR 對雜草族群種類之影響趨勢近似於 ADMAT，然僅 TK 9 田區顯著相關。若將 4 個良質稻種之栽培田區全部雜草資料合併分析，無論雜草科別數或種別數，皆與此三種氣象變因顯著相關，其中 ADMAT 及 ADIR 為曲線正相關，ADSH 為凹型曲線相關。又比較 4 個良質稻種田區在兩期稻作期間所調查之雜草相，發現一期稻作之 5 個栽植期合計以滿天星數量最多，其次為紅骨草；二期稻作之 5 個栽植期合計則以尖瓣花及多花水莧之數量居前二位。此 4 種雜草在水稻秧苗移植後 4 週所調查之數量，經與 ADMAT 比較呈現出凸型或凹型曲線關係。若合併兩期稻作 10 個不同栽植期調查之全部田區雜草資料，總數以尖瓣花數量最多，且其單位面積植株密度隨著 ADMAT 的增加而升高，其次為滿天星、千金子及稗草。 綜合試驗結果，顯示不同水稻品種栽植田區之雜草種類與數量在期作間互異，且受到栽植期氣溫之影響。

**關鍵詞**：栽植期、水稻、雜草種類、雜草密度。

## 前　言

田間雜草與主作物之間對於光線、水分利用與營養源等的強力競爭，且為病蟲原寄主及相剋毒害作用等影響，使雜草被認為是引起作物減產的有害生物因素之一 (Chiang 1995)，也因此彰顯出雜草管理在作物栽培過程中的重要性。一般農田雜草發生與土壤中的雜草種子庫

1. 行政院農業委員會農業試驗所研究報告第 2518 號。接受日期：100 年 5 月 10 日。
2. 本所作物組助理研究員、研究員、助理研究員。台灣 台中市。
3. 通訊作者，電子郵件：cmyang@tari.gov.tw；傳真機：(04)23317118。

(soil seed bank)，因各種環境、土壤質地、氣候、耕作方式及除草劑使用而產生不同的雜草種類、數量與分佈，亦因各項因子間的交感而產生差異 (Kuo 2004; Dyer 1995)。以耕作方式而言，水田與旱田雜草之發生種類與數量即有明顯不同，臺灣旱田雜草因明顯環境差異而多達 400 餘種，水田雜草則因經常處於湛水及較為均一栽培環境而僅有 165 種之紀錄 (Chiang & Leu 1982; Chiang *et al.* 2003)，且多以一年生雜草為主。

水稻係國內最主要的糧食作物，依據農糧署 2009 年出版之行政院農業委員會「統計年報」資料，臺灣總稻作面積為 254,590 ha (Agricultural Statistics Yearbook 2009)。國內兩期稻作由於栽培氣候之明顯不同，一期稻作之生育期由較低之氣溫與日射量朝向高溫、多日射量氣象環境生長，二期稻作則由生長初期之高溫、多日射量至收穫時之低溫、低日射量 (Lee *et al.* 2009)，導致病、蟲、草害的發生存在期作特性與差異。對雜草而言，因為二期稻作收穫後至一期稻作插秧之間約有 90 天左右非湛水甚至乾燥狀態，此時原在湛水缺氧下休眠的旱田種子可能陸續萌芽、生長 (Kuo 2004)，於是在一期稻作田間常見有旱田雜草 (Chiang & Leu 1982)。整體來說，一期稻作普遍可見如野茨菰 (*Sagittaria trifolia*)、牛毛氈 (*Eleocharis acicularis*) 及水蜈蚣 (*Kyllinga brevifolia* Rottb.) 等雜草，二期稻作則以鴨舌草 [*Monochoria vaginalis* (Burm F.) Presl]、紅骨草 [*Rotala indica* (willd) Koehne]、尖瓣花 (*Sphenoclea zeylanica* Gaertn) 及芒稷 [*Echinochloa colona* (L.) Link] 等較常發生 (Chiang & Leu 1982)。

人類活動排放的溫室氣體乃是全球暖化及氣候變遷的主要原因之一，目前氣候的溫暖化已是不爭的事實，自 1850 年起地表平均溫度即以每百年約 0.74℃的速度增加 (IPCC 2007)。隨著暖化情境的持續加劇，近年來因氣候異常而頻繁發生的各種氣象災害 (如熱浪、豪大雨、乾旱、寒潮、冰風暴) 愈趨明顯，可預期將對農業生產帶來負面影響，包括稻米生產的「安全環境」均將受到嚴重威脅 (Lu *et al.* 2006)。臺灣慣行的一期稻作期間約在 2–6 月，二期稻作則在 7–11 月間，但是無論一、二期作，幼穗形成及穀粒充實期間的氣候變化對於產量與品質之影響最為關鍵 (Lu *et al.* 2008)。綜合各種資訊來源，栽植期的調整可能係稻作栽培因應氣候變遷與全球暖化的主要調適策略之一 (Lu *et al.* 2006; Lee *et al.* 2009)，然而伴隨著栽植期的調整所發生的田間病、蟲、草害問題，可能也將出現不同與不等的變化，仍有待謀求妥善的因應管理對策。

當水稻的生育期往前或往後調整，必然出現異於現行栽培環境的氣候條件，使病、蟲、草源之發生組成有所差異。對於雜草來說，栽植期的改變將產生不同的雜草種類及生長表現，直接影響雜草與作物之間的競爭關係 (Chiang & Leu 1982; Andersson & Milberg 1998)。另以大豆為例，Tungate *et al.* (2007) 模擬全球暖化對作物-雜草間相互作用影響，發現決明子 (*Senna obtusifolia*) 及刺金午時花 (*Sida spinosa*) 兩種雜草達到最大生質量的溫度較大豆高，甚至在最高溫 (42/37℃) 處理下兩種雜草的生質量仍高於大豆，且大豆之根/莖比 (root: shoot ratio) 在高溫時明顯低於兩種雜草。由此可見，在高溫下大豆的競爭力低於此兩種雜草，因此預料雜草對大豆的生長與產量的危害相當顯著。Patterson *et al.* (1999) 指出增溫 3℃可促進常見雜草羅氏草 (*Rottboellia cochinchinensis*) 的乾物重及葉面積分別增加 88 及 68%，該雜草並可能隨著全球暖化趨勢逐漸向北方高緯度地區推移。除了溫度之外，其他氣象因子如光照亦是影響雜草萌發與地理分佈的重要因素，例如中國大陸的一種菊科入侵植物-飛機草 (*Eupatorium odoratum* L.) 就隨著

光輻射量的增強而生質量增加，使得高光照地區逐漸遭受飛機草入侵危害的風險 (Zhang *et al.* 2009)，導致當地植物族群生物多樣性受到威脅。此外，諸如耕犁、種植及肥料施用等栽培措施在時間上的調整，也將會影響雜草的擴散與分佈 (Andersson & Milberg 1998)，因此亦必須改變雜草管理模式以為因應。

$CO_2$ 濃度上升將造成氣候暖化，而 $CO_2$ 又是植物行光合作用製造含碳化合物所需的碳源，當各種活動製造的 $CO_2$ 排放造成暖化情境的升高，可能會增進植物的光合作用效率及生產量 (Erice *et al.* 2006; Chiang & Chiang 2010)。然而，由於對 $CO_2$ 的利用途徑不同，增加 $CO_2$ 濃度對於 $C_3$ 與 $C_4$ 型植物的光合作用產生的效益也存有差異，$C_4$ 型植物的光合作用效率隨著 $CO_2$ 濃度的上升很快就達到飽和，而 $C_3$ 植物則能持續的進行光合作用 (Ziska 2001)。Kimball (1983) 指出 $C_3$ 型植物隨著 $CO_2$ 倍增時可提高生物量達 40%，但 $C_4$ 型植物僅增加 11%。同理，預期在高 $CO_2$ 濃度下將會使多年生 $C_3$ 型雜草提高光合作用效率，此光合產物充分的轉移至地下莖或塊莖等積儲器官而有利於其生長與繁衍 (Oechel & Strain 1985)。因此，田間 $C_3$ 與 $C_4$ 型雜草之間的競爭與分佈可能會因為氣候暖化而改變，雜草管理的困難度亦因而增加 (Patterson *et al.* 1999)。Ziska (2000) 曾估算提高 $CO_2$ 濃度增加雜草競爭對大豆減產造成的衝擊，發現 $C_3$ 型雜草藜 (*Chenopodium album* L.) 將使得大豆減產 39%，但是 $C_4$ 型雜草刺莧 (*Amaranthus retroflexus* L.) 的減產幅度反而由 45%降至 30%。顯見 $CO_2$ 濃度的上升將影響 $C_3$、$C_4$ 型雜草與農作物間的競爭關係，$C_3$ 型雜草的危害程度可能高於 $C_4$ 型雜草。

有鑑於全球暖化對雜草與農作物間競爭關係的深遠影響，殊有必要深入瞭解暖化情境下田間雜草相分佈的異動。本研究於 2009 年進行 4 個良質稻種的 10 個栽植期種植，調查各栽植期田區發生的草相，並依據插秧至調查日期之間所累積的日均溫、日照時數及日射量等 3 種不同氣象變因，藉以釐清氣象因子對草相分佈的影響及不同良質稻種田區之間雜草發生種類與數量的差異，作為未來雜草管理與評估雜草危害的依據。

## 材料與方法

本研究於臺中市霧峰區之行政院農業委員會農業試驗所農場進行田間試驗，以 2009 年一期稻作期間之立春 (‘Lichun’ or first day of spring；代號 SS) 與二期稻作期間之大暑 (‘Dashu’ or first day of mid-summer；代號 MS) 等兩個節氣為栽植中心期，在兩節氣前後 15 天及 30 天實施合計 10 個節氣之栽植期 (表 1)；包括一期稻作期間之立春前 30 天 (代號 SS－30 d)、立春前 15 天 (代號 SS － 15 d)、立春 (代號 SS)、立春後 15 天 (代號 SS + 15 d) 及立春後 30 天 (代號 SS + 30 d) 等 5 個栽植期，二期稻作期間之大暑前 30 天 (代號 MS － 30 d)、大暑前 15 天 (代號 MS － 15 d)、大暑 (代號 MS)、大暑後 15天 (代號MS + 15d) 及大暑後30天 (代號MS + 30 d) 等 5 個栽植期。每個節氣栽植期皆種植桃園 4 號 (TY 4)、臺農 71 號 (TNG 71)、臺稉 9 號 (TK 9) 及高雄 145 號 (KH 145) 等 4 種良質稻種，每一栽植期田區面積 0.1 ha (50 m × 20 m)，均分為 4 個小區逢機栽培。當秧苗於 3–4 葉齡期時，以南北向多本植人工插於試驗田區，田區土壤為偏酸性 (pH 5.4) 之壤土，有機質含量約為 2.21%。本田區在試驗前一年 (2008) 以非化學方式進行雜草管理，2009 年合計 10 個栽植期皆於草相調查後以人工拔除較大株雜草，降低對稻株生長之影響。

在肥料的施用上，插秧前施用 200 kg $ha^{-1}$ 的臺肥 39 號複合肥料粒劑 (12% N，臺灣肥料股份有限公司，高雄市) 作為基肥，插秧後 1–2 週施用 200 kg $ha^{-1}$ 的臺肥硫銨粒劑 (21% N)

**表 1.** 2009 年兩期稻作期間 10 個不同栽植期之移植日期、草相調查日期、氣象變因累加值及各良質稻種 [桃園 4 號 (TY 4)、台農 71 號 (TNG 71)、臺稉 9 號 (TK 9) 和高雄 145 號 (KH 145)] 田區調查之雜草科別數與種別數

**Table 1.** Effect of transplanting dates on number of family and species of weeds and climatic variables in the first and second crop seasons of four cultivars (cv. TY 4, TNG 71, TK 9 and KH 145) of paddy rice grown in 2009

| | | | | Climatic variable [y] | | | TY 4 [x] | | TNG 71 | | TK 9 | | KH 145 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Crop | Symbol [z] | Date of Transplanting | Date of weed survey | ADMAT (℃) | ADSH (h) | ADIR (MJ m$^{-2}$) | F [w] | S | F | S | F | S | F | S |
| 1$^{st}$ crop | SS − 30 d | 12/24/08 | 01/21/09 | 428.50 | 196.90 | 258.19 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | SS − 15 d | 01/20/09 | 02/17/09 | 524.20 | 216.50 | 292.20 | 3 | 3 | 5 | 5 | 0 | 0 | 5 | 5 |
| | SS | 02/09/09 | 03/09/09 | 594.00 | 191.80 | 312.07 | 0 | 0 | 4 | 4 | 0 | 0 | 6 | 8 |
| | SS + 15 d | 02/19/09 | 03/19/09 | 568.40 | 181.40 | 307.16 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | SS + 30 d | 03/05/09 | 04/02/09 | 560.70 | 159.90 | 280.34 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2$^{nd}$ crop | MS − 30 d | 06/23/09 | 07/21/09 | 800.30 | 135.00 | 337.93 | 1 | 1 | 3 | 3 | 3 | 3 | 1 | 1 |
| | MS − 15 d | 07/07/09 | 08/04/09 | 817.30 | 149.70 | 349.81 | 5 | 8 | 5 | 7 | 4 | 6 | 5 | 7 |
| | MS | 07/23/09 | 08/20/09 | 799.00 | 143.80 | 321.34 | 7 | 10 | 2 | 2 | 6 | 8 | 5 | 6 |
| | MS + 15 d | 08/10/09 | 09/07/09 | 813.60 | 213.50 | 391.20 | 6 | 9 | 6 | 7 | 6 | 7 | 6 | 7 |
| | MS + 30 d | 08/20/09 | 09/17/09 | 821.00 | 225.80 | 392.28 | 5 | 5 | 3 | 3 | 5 | 6 | 3 | 3 |

[z] SS: 'Lichun' (first day of spring; 02/09/ 2009). According to the lunar calendar, Lichun refers to the day when the sun is exactly at the celestial longitude of 0°. SS − 30 d and SS − 15 d are transplanting of rice seedlings at 30 and 15 days before Lichun, respectively, and SS + 15 d and SS + 30 d are 15 and 30 days after Lichun, respectively.
MS: 'Dashu' (first day of mid-summer; 07/23/2009). According to the lunar calendar, Dashu refers to the day when the sun is exactly at the celestial longitude of 120°. MS − 30 d and MS − 15 d are transplanting of rice seedlings at 30 and 15 days before Dashu, respectively, and MH +15 d and MH + 30 d are 15 and 30 days after the date of Dashu, respectively.
[y] ADMAT: accumulated daily mean air temperatures; ADSH: accumulated daily sunshine hours; and ADIR: accumulated daily irradiance.
[x] Rice cultivar: TY 4: Taoyuan No.4; TNG 71: Tainung No.71; TK 9: Taiken No.9; KH 145: Kaohsiung No.145.
[w] F: number of weed family; and S: number of weed species.

為第一次追肥，插秧後 4–5 週施用 200 kg ha$^{-1}$ 的臺肥硫銨粒劑為第二次追肥，再於抽穗前 1–2 週施用 100 kg ha$^{-1}$ 的臺肥 39 號複合肥料粒劑為穗肥，合計 120 kg ha$^{-1}$ 的氮素。

各節氣栽植期之各水稻品種田區，皆統一於插秧後第 4 週進行草相調查，每一稻種小區均逢機割取 4 個 1 m$^2$ 的取樣點來調查雜草的科屬別與種別，以平均值表示。先將 1 m$^2$ 面積內的所有雜草樣本割取攜回，經過清洗、分類後記錄雜草科別數與種別數。試驗期間之氣象資料，乃收集試區鄰近之一級農業氣象測站測值 (月報表)，包括每日的平均氣溫 (DMAT)、日射量 (IR)、日照時數 (DSH) 等氣象因子。而各節氣栽植期從移植日期至移植後 28 天 (草相調查日期，表 1) 累加之 3 種氣象因子之測值，則包括累加日平均氣溫 (accumulated daily mean air temperature; ADMAT)、累加日射量 (accumulated daily irradiance; ADIR) 及累加日照時數 (accumulated daily sunshine hours; ADSH) 等變因。試驗資料之統計分析，係利用 SAS 統計軟體 (version 8.1, SAS Institute)，統計繪圖軟體則採用 SigmaPlot (version 8.0 SPSS ASC BV, the Netherlands)。

## 結 果

本研究以 2009 年一、二期稻作期間之立春與大暑兩節氣作為栽期中心期，分別於節氣前後 15 天及 30 天各栽植 TY 4、TNG 71、TK 9 及 KH 145 等 4 個良質稻種， 10 個節氣栽植期資料，各期之移植日期、秧後第 4 週草相調查日期、氣象因子累加值及各稻種田區所調查之草相科別數與種別數等皆可予以比較 (表 1)。

各節氣栽植期之日均溫、日照時數與日射量等三個氣象因子之累加值及雜草相存在差異，顯示以二期稻作期間之栽植期氣象變因測值較高，而雜草族群科別與種別較多 (表 1)。

試驗期間各良質稻種田區於移植後 28 天所調查之雜草族群科別數及種別數與該期間累加日均溫 (ADMAT) 關係繪製於圖 1，兩者皆隨著 ADMAT 的升高而增加，其中尤以 TY 4 及 TK 9 田區之雜草科別數及種別數呈現明顯二次曲線上升趨勢。又各節氣栽植期調查之雜草科別數及種別數與日照時數累加值 (ADSH) 之關係繪於圖 2，惟未達顯著二次曲線關係。

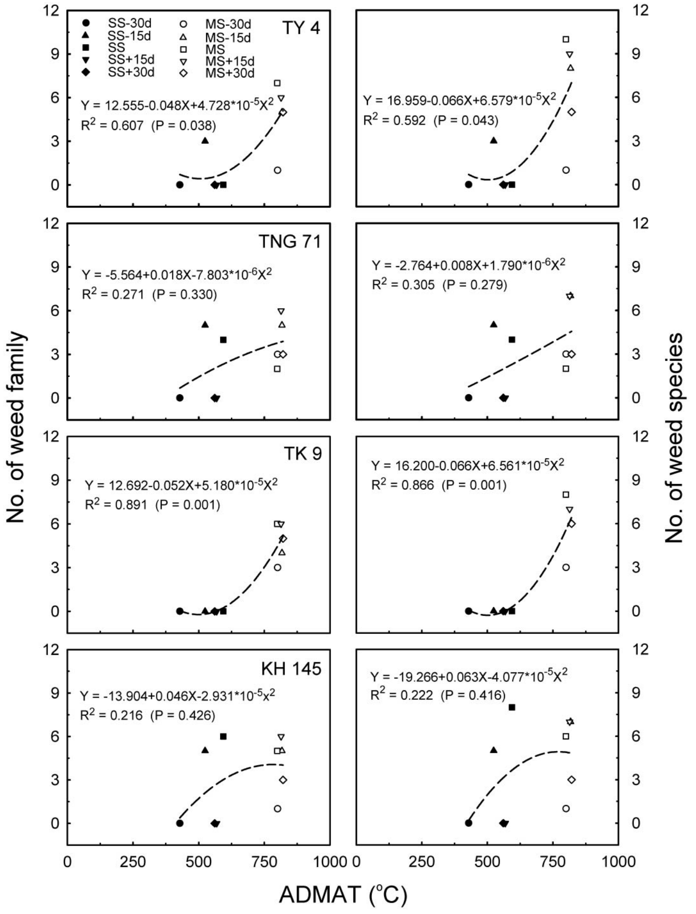


**圖 1.** 2009 年兩期稻作期間合計 10 個不同栽植期栽培 4 個良質稻種於插秧後第 4 週田間調查之雜草科別及種別數目與該期間累加日均溫 (ADMAT) 之關係。

**Fig. 1.** The relationships between numbers of weed family and species and accumulated daily mean air temperatures (ADMAT) measured at 4 weeks after transplanting of 4 rice cultivars in paddy fields in the first and second crops of 2009. There were five transplanting dates for each cultivar in each crop season, SS − 30 d: 30 days beofore Lichun; SS − 15 d: 15 days beofore Lichun; SS: Lichun (02/09/2009); SS + 15 d: 15 days after Lichun; SS + 30 d: 30 days after Lichun, MS − 30 d: 30 days beofore Dashu; MS − 15 d: 15 days beofore Dashu; MS: Dashu (07/23/2009); MS + 15 d: 15 days after Dashu; and MS + 30 d: 30 days after Dashu. Lichun (SS) is the first day of spring and Dashu (MS) is the first day of mid-summer, according to the lunar calendar. The four rice cultivars were: TY 4, Taoyuan No. 4; TNG 71, Tainung No. 71; TK 9, Taiken No. 9; and KH 145, Kaohsiung No. 145.

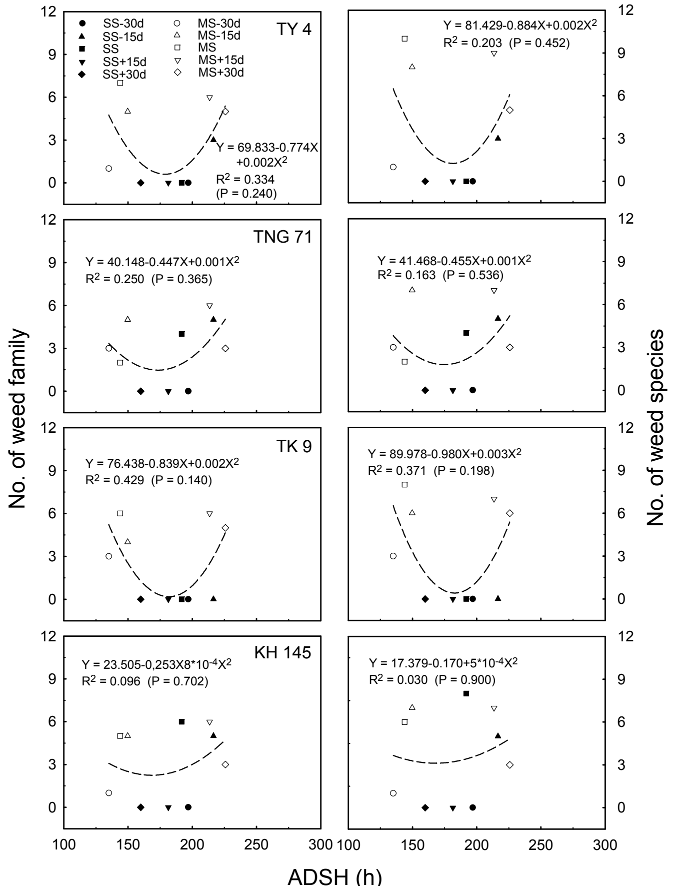


**圖 2.** 2009 年兩期稻作期間合計 10 個不同栽植期栽培 4 個良質稻種於插秧後第 4 週田間調查之雜草科別及種別數目與該期間累加日照時數 (ADSH) 之關係。

**Fig. 2.** The relationships between numbers of weed family and species and accumulated daily sunshine hours (ADSH) measured at 4 weeks after transplanting of 4 quality rice cultivars grown in paddy fields in both first and second crops of 2009. There were five transplanting dates for each cultivar in each crop season, SS − 30 d: 30 days beofore Lichun; SS − 15 d: 15 days beofore Lichun; SS: Lichun (02/09/2009); SS + 15 d: 15 days after Lichun; SS + 30 d: 30 days after Lichun, MS − 30 d: 30 days beofore Dashu; MS − 15 d: 15 days beofore Dashu; MS: Dashu (07/23/2009); MS + 15 d: 15 days after Dashu; and MS + 30 d: 30 days after Dashu. Lichun (SS) is the first day of spring and Dashu (MS) is the first day of mid-summer, according to the lunar calendar. The four rice cultivars were: TY 4, Taoyuan No. 4; TNG 71, Tainung No. 71; TK 9, Taiken No. 9; and KH 145, Kaohsiung No. 145.

而在日射量累加值 (ADIR) 關係上亦呈現上升趨勢，惟僅有 TK 9 田區之雜草科別數及種別數概隨著累加日射量呈顯著二次曲線增加關係 (圖 3)。

將各稻種田區合計 10 個節氣栽植期所調查之草相與氣象資料合併分析，由迴歸曲線分析結果，可發現除 ADSH 對雜草種別數外，ADMAT、ADIR 皆顯著以二次曲線關係影響稻田雜草族群種類 ($P < 0.001$)，無論係雜草科別數及種別數均大多因溫度、日照時數及日射量累加值的升高而增加 (圖 4)。比較圖中各稻種田區之雜草族群種類多寡，以 KH 145 田區所

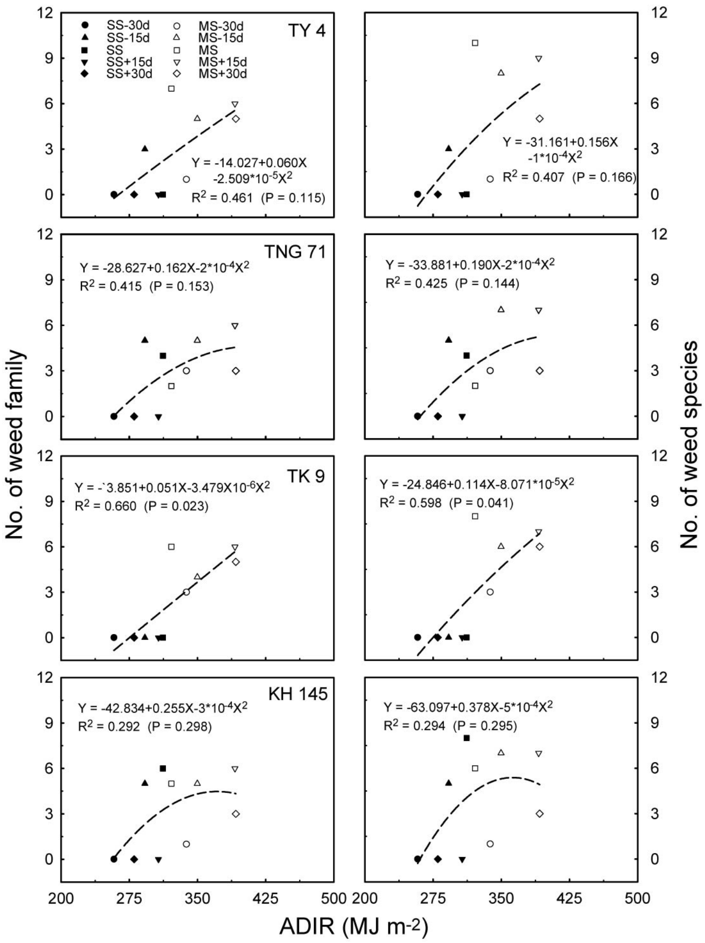


**圖 3.** 2009 年兩期稻作期間合計 10 個不同栽植期栽培 4 個良質稻種於插秧後第 4 週田間調查之雜草科別及種別數目與該期間累加日射量 (ADIR) 之關係。

**Fig. 3.** The relationships between numbers of weed family and species and accumulated daily irradiance (ADIR) measured at 4 weeks after transplanting of 4 quality rice cultivars grown in paddy fields in both first and second crops of 2009. There were five transplanting dates for each cultivar in each crop season, SS − 30 d: 30 days beofore Lichun; SS − 15 d: 15 days beofore Lichun; SS: Lichun (02/09/2009); SS + 15 d: 15 days after Lichun; SS + 30 d: 30 days after Lichun, MS − 30 d: 30 days beofore Dashu; MS − 15 d: 15 days beofore Dashu; MS: Dashu (07/23/2009); MS + 15 d: 15 days after Dashu; and MS + 30 d: 30 days after Dashu. Lichun (SS) is the first day of spring and Dashu (MS) is the first day of mid-summer according to the lunar calendar. The four rice cultivars were: TY 4, Taoyuan No. 4; TNG 71, Tainung No. 71; TK 9, Taiken No. 9; and KH 145, Kaohsiung No. 145.

調查之科別數與種別數較多，依序再為 TNG 71、TY 4 及 TK 9 之田區。

進一步分析雜草族群密度最多之 KH 145 田區草相，發現不同節氣栽植期於移植後 28 天調查之雜草種類存有差異，一期稻作期間之各節氣栽植期僅立春前 15 天及立春兩栽植期之取樣點發現雜草，其餘節氣栽植期由於雜草數量甚少而未出現在取樣點 (表 2)。其中，立

春前 15 天栽植期以滿天星 (*Alternanthera sessilis* R. Brown) 分布較多，其次為紅骨草 [*Rotala indica* (Willd) Koehne]、母草 [*Lindernia procumbens* (Krock.) Borbas] 及球花蒿草(*Cyperus difformis* L.)；立春節氣栽植期發現有二期作期間才會出現的尖瓣花 (*Sphenoclea zeylanica* Gaertn.)，且其分布較多，其次為千金子 [*Leptochloa chinensis* (L.) Nees]、紅骨草 、滿天星、稗草 [*Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv]、球花蒿草、節節花 (*Alternanthera nodiglora* R. Brown)。二期稻作期間之 5 個節氣栽植期均發現雜草，且雜草種類相對較為多元，以大暑前 15 天、大暑及大暑後 15 天三個節氣栽植期之雜草族群密度較多 (數字未列出)。在此 5 個節氣栽植期，除了大暑栽植期 (多花水莧 *Ammannia multiflora* Roxb.分布最多) 外，以尖

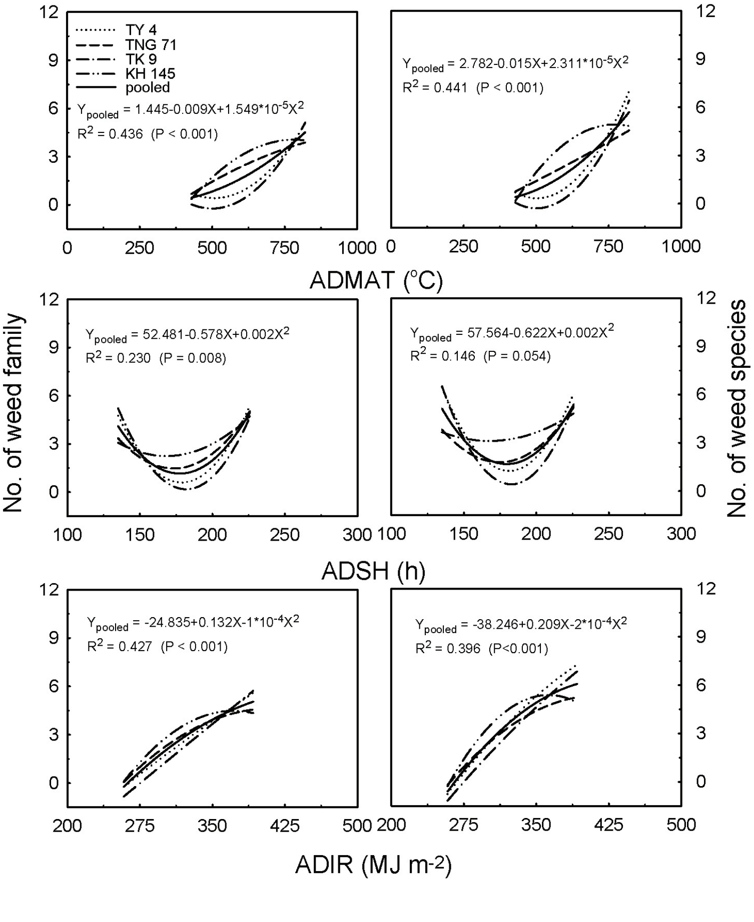


**圖 4.** 2009 年兩期稻作期間合計以 10 個不同栽植期栽培 4 個良質稻種於插秧後第 4 週田間調查之雜草科別及種別數目與該期間各別累加氣象變因之關係。

**Fig. 4.** Comparisons of the relationships between numbers of weed family and species and accumulated values of climatic variables (ADMAT, ADSH, and ADIR) measured at 4 weeks after transplanting of 4 quality rice cultivars grown in paddy fields in both first and second crops of 2009. ADMAT: accumulated daily mean air temperature; ADSH: accumulated daily sunshine hours; and ADIR: accumulated daily irradiance. The four rice cultivars were: TY 4, Taoyuan No. 4; TNG 71, Tainung No. 71; TK 9, Taiken No. 9; and KH 145, Kaohsiung No. 145.

**表 2.** 2009 年兩期稻作期間 10 個不同栽植期於插秧後 4 週在良質稻種高雄 145 號田區調查之雜草族群科別數、種別數及密度高低排序

**Table 2.** Number of weed family and species and order of weed population density in the fields of paddy rice cultivar KH 145 transplanted at five different dates in each of the two crop seasons in 2009

| Rice crop in 2009 | Symbol [z] | No. of weed family | No. of weed species | Species of weeds in order of population density |
|---|---|---|---|---|
| 1st crop | SS – 30 d | 0 | 0 | Not available[y] (no planting) |
| | SS – 15 d | 5 | 5 | *Alternanthera sessilis* > *Rotala indica* > *Lindernia procumbens* > *Cyperus difformis* |
| | SS | 6 | 8 | *Sphenoclea zeylanica* > *Leptochloa chinensis* > *Rotala indica* > *Alternanthera sessilis* > *Echinochloa crus-galli* > *Cyperus difformis* > *Alternanthera nodiflora* |
| | SS + 15 d | 0 | 0 | Not available (cold weather) |
| | SS + 30 d | 0 | 0 | Not available (cold weather) |
| 2nd crop | MS – 30 d | 1 | 1 | *Sphenoclea zeylanica* |
| | MS – 15 d | 5 | 7 | *Sphenoclea zeylanica* > *Cyperus difformis* > *Monochoria vaginalis* > *Echinochloa crus-galli* > *Leptochloa chinensis* > *Cyperus iria* > *Rotala indica* |
| | MS | 5 | 6 | *Ammannia multiflora* > *Sphenoclea zeylanica* > *Alternanthera sessilis* > *Fimbristylis littoralis* > *Leptochloa chinensis* > *Echinochloa crus-galli* |
| | MS + 15 d | 6 | 7 | *Sphenoclea zeylanica* > *Ammannia multiflora* > *Monochoria vaginalis* > *Leptochloa chinensis* > *Ludwigia octovalvis* > *Echinochloa crus-galli* > *Cyperus difformis* |
| | MS + 30 d | 3 | 3 | *Sphenoclea zeylanica* > *Ammannia multiflora* > *Alternanthera sessilis* |

[z] SS: "Lichun" (first day of spring; 02/09/2009). According to the lunar calendar, Lichun refers to the day when the sun is exactly at the celestial longitude of 0°. SS – 30 d and SS – 15 d are transplanting of rice seedlings at 30 and 15 days before Lichun, respectively, and SS + 15 d and SS + 30d are 15 and 30 days after the date of Lichun, respectively.
MS: "Dashu" (first day of mid-summer; 07/23/2009). According to the lunar calendar, Dashu refers to the day when the sun is exactly at the celestial longitude of 120°. MS – 30 d, MS – 15 d are transplanting of rice seedlings at 30 and 15 days before Dashu, respectively, and MH + 15 d and MH + 30 d are 15 and 30 days after the date of Dashu, respectively.

瓣花分布佔多數，而大暑前 30 天栽植期僅取樣到尖瓣花。大暑前 15 天栽植期之雜草族群密度排序為尖瓣花、球花蒿草、鴨舌草、稗草、千金子、碎米莎草 (*Cyperus iria* L.) 及紅骨草等，大暑栽植期為多花水莧、尖瓣花、滿天星、木虱草 (*Fimbristylis littoralis* Gaudich)、千金子及稗草等，大暑後 15 天栽植期為尖瓣花、多花水莧、鴨舌草、千金子、水丁香 [*Ludwigia octovalvis* (Jacq.) Raven]、稗草及球花蒿草等，大暑後 30 天栽植期則為尖瓣花、多花水莧及滿天星。

栽植期之氣象環境乃影響雜草族群分佈的主要因素之一，在所調查之三個氣象變因當中，亦發現 ADMAT 與雜草科別數及種別數之間皆達顯著二次曲線關係 (圖 4；$P < 0.001$)。若續將各稻種田區兩期稻作合計 10 個節氣栽植期所調查雜草族群數量最多前兩名與 ADMAT 繪製關係圖，則未達顯著水準 (圖 5)。未來將持續進行更多栽植期調查，期以釐清其等與溫度變因之關係。無論如何一期稻作期間之雜草族群以滿天星 (圖 5A) 及紅骨草 (圖 5B) 最多，各節氣栽植期之 ADMAT 介於 428–594℃區間；二期稻作期間則以尖瓣花 (圖 5C) 及多花水莧 (圖 5D) 最多，各節氣栽植期之 ADMAT 落於 799–821℃範圍。雖然未達統計上顯著水準，滿天星、紅骨草及尖瓣花與 ADMAT 之間呈現凸型曲線分佈，多花水莧則為凹形曲線分佈。再將兩期稻作合計 10 個節氣栽植期之雜草族群數量合併分析，以排名前四位之雜草種類而言，族群數量最多之尖瓣花與 ADMAT 之曲線關係達到顯著水準 (圖 6)。其次之滿天星、千金子及稗草雖為凹形曲線分佈，然未達顯著二次曲線關係。

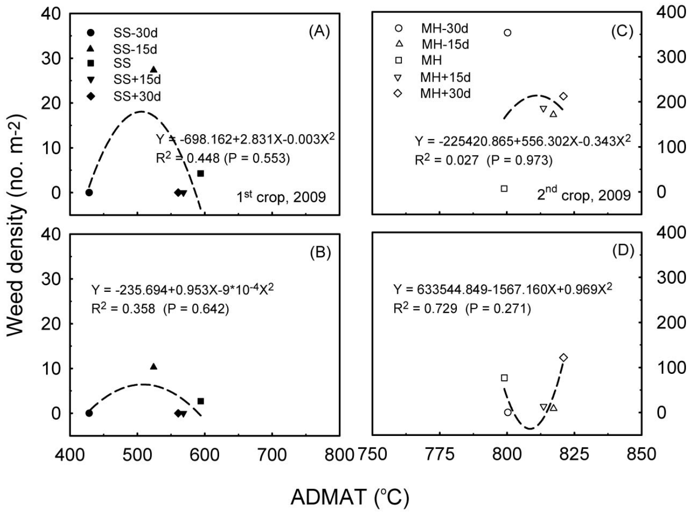


**圖 5.** 2009 年兩期稻作期間分別以 5 個不同栽植期栽培 4 個良質稻種於插秧後 4 週在田區調查之雜草族群數量最多及次多者與該期間累加日均溫之關係。一期稻作期間 5 個栽植期之雜草族群總數以滿天星 (A) 最多，其次為紅骨草 (B)；二期稻作期間 5 個栽植期之雜草族群總數以尖瓣花 (C) 最多，其次為多花水莧 (D)。

**Fig. 5.** Changes in density of the top two largest weed populations, *Alternanthera sessilis* (L.) R. Brown (A) and *Rotala indica* (Willd) Koehne (B) of first crop and *Sphenoclea zeylanica* Gaertn. (C) and *Ammannia multiflora* Roxb. (D) of second crop, with accumulated daily mean air temperature (ADMAT) measured at 4 weeks after transplanting of 5 planting periods (refer to Table 2) in paddy fields cultivated with 4 quality rice cultivars. The four rice cultivars were: TY 4, Taoyuan No. 4; TNG 71, Tainung No. 71; TK 9, Taiken No. 9; and KH 145, Kaohsiung No. 145.

## 討　　論

本研究利用立春與大暑為栽植中心期的節氣進行栽培試驗，可由氣象變因與雜草相的分佈關係 (表 1)，發現冬末及早春的栽植期 (由立春前 30 天至立春後 30 天) 可能會因冷氣團及寒流來襲，限制了萌芽雜草種類與數量，特別是立春前 30 天節氣栽植期。二期稻作期間的各節氣栽植期，由於溫暖潮濕天氣使得所調查到的雜草族群種類與數量概多於一期稻作期間之各栽植期者。而由本試驗計算之 3 種氣象變因，不僅彰顯兩期稻作氣象環境的差異，也反應了兩期稻作之間雜草相的差別 (表 1、圖 4)。在溫度較低的一期稻作期間，雜草種子萌芽及生長分散於較長之時間；以稗草為例，一期稻作發育至 3 片本葉需時 18 日，二期稻作僅需 8 日 (Chiang 1995)，單由氣溫對雜草生長的影響即可預期雜草對稻株的不等競爭壓力，最後終將反應於稻株的生長表現。

綜合 10 個節氣栽植期插秧後 28 天之累加溫度與各稻種田區之雜草相，顯示出雜草科別數與種別數均隨著累加溫度的升高而增多 (圖 1)。由於溫度的增加有利於多數雜草種子生理代謝效率及植體生質量的蓄積而促進萌發與苗株生長 (Tungate *et al.* 2007)，因此分佈於二期稻作期間的 5 個節氣栽植期之雜草種類與數量普遍大於一期稻作期間的栽植期 (表 1、表 2、圖 4、圖 5)。通常溫度的高低與日射量的多寡高度相關而可相互估算 (Yao *et al.* 2002)，本試驗亦顯示日射量與雜草分布之曲線關係和氣溫與雜草分佈之曲線關係類似 (圖 3)，因此可以預期稻田雜草族群在高溫及高日射量下快速繁衍。

除溫度影響，光照是另一項促進雜草萌發與生長的因子 (Colbach *et al.* 2002)，本試驗合

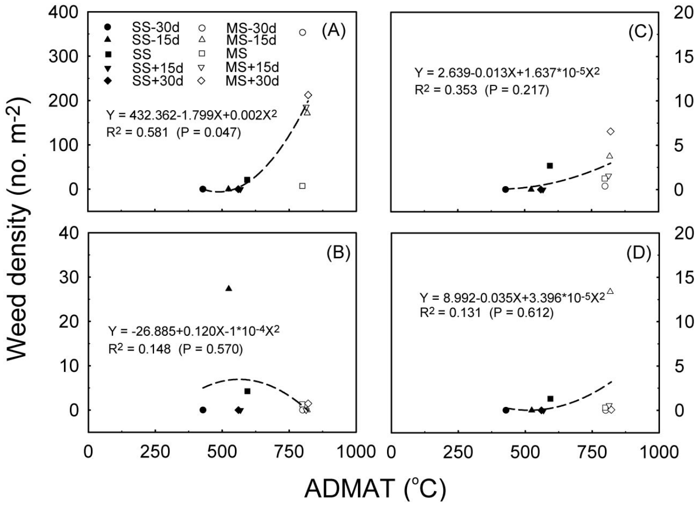


**圖 6.** 2009 年兩期稻作期間合計 10 個不同栽植期於 4 個良質米稻種田區在插秧後 4 週調查之雜草族群總數排名前四位之雜草密度與累加日均溫之關係。雜草族群數量由高至低依序為尖瓣花 (A)、滿天星 (B)、千金子 (C) 及稗草 (D)。

**Fig. 6.** Effect of accumulated daily mean air temperature (ADMAT) on population density of major weeds (A–D) in 4 paddy rice cultivars grown in both first and second crops in 2009. There were five transplanting dates for each cultivar in each crop season, SS − 30 d: 30 days beofore Lichun, SS − 15 d: 15 days beofore Lichun; SS: Lichun (02/09/2009); SS + 15 d: 15 days after Lichun; SS + 30 d: 30 days after Lichun; MS − 30 d: 30 days beofore Dashu; MS − 15 d: 15 days beofore Dashu; MS: Dashu (07/23/2009); MS + 15 d: 15 days after Dashu; and MS + 30 d: 30 days after Dashu. Lichun (SS) is the first day of spring and Dashu (MS) is the first day of mid-summer, according to the lunar calendar. ADMAT was measured at 4 weeks after transplanting. The largest weed population was *Sphenoclea zeylanica* (A), followed by *Alternanthera sessilis* (B), *Leptochloa chinensis* (C), and *Echinochloa crus-galli* (D).

併各稻種田區之雜草相與氣象資料分析結果，顯示了溫度與日射量兩種氣象變因對雜草種類 (圖 4) 及數量 (圖 5、6) 的顯著影響，成為決定雜草相與擴散的兩項重要因子 (Colbach *et al.* 2002)。在自然界中某些雜草種類需要每日長達 12 小時之光照才能提高萌芽率，如白夏菊 (*Matricaria perforata*) 及菊科的 *Lapsana communis*，亦有僅需要短暫 (約 5 秒) 的閃光效應即可萌芽的雜草，如薺菜 (*Capsella bursa-pastoris*)、大爪草 (*Spergula arvensis*) 及蕁麻 (*Urica urens*) (Dyer 1995; Millberg & Andersson 1997)。由本研究日照時數與雜草族群種類之凹型曲線分佈關係，似乎在較高及較低的日照時數兩端具有較多雜草族群，是否代表分別存在陽性 (需要較長日照時數) 及陰性 (需要較短日照時數) 的雜草族群於兩期稻作栽植期 (圖 4)，則需要再進一步的探討。

經比較不同稻種田區之雜草種類，概以 KH 145 田區之科別數及種別數較多，以 TK 9 田區較少。事實上各水稻品種田區所調查到的雜草相不盡相同，某些草類會跨節氣栽植期出現。針對水田雜草相變動的相關研究當中，其一原因係長期使用除草劑而淘汰一年生雜草，卻增加多年生雜草種類 (Chiu & Hong 1982; Chiang 1995)。其二原因乃由於外來入侵種植物之強勢競爭，導致可耕地雜草相發生改變 (Patterson *et al.* 1999; Chiang & Chiang 2010)。近年來全球暖化及氣候的快速變遷也引起有關雜草相變化之研究，有鑑於溫室氣體 $CO_2$ 濃度的增加將提高 $C_3$ 型雜草的光合作用及其水分

利用效率，促使雜草生長速率與淨同化速率相對的提高，很可能擴大了 $C_3$ 型雜草的競爭潛力 (Bunce 1997; Ziska 2000)。本研究中 KH 145 田區所分布的雜草計有 24 種 (表 2)，調查發現二期稻作常見的尖瓣花已擴散至 5 個節氣栽植期，並且出現於一期稻作的立春節氣栽植期中，可見至少在霧峰試驗地區暖化趨勢擴大了尖瓣花的發生時間及生存空間。Chiang & Chiang (2010) 亦指出暖化升溫趨勢已縮小期作間水田雜草種類與發育的差距，很可能係主要危害於二期稻作的尖瓣花提早變成一期稻作困擾的潛在原因。在以往的研究中，尖瓣花因為南北氣候差異多集中分布於臺南、高雄一帶 (Chiang & Leu 1982)，從 Chiang & Chiang (2010) 的調查可發現其分布區域已往北推移，推測暖化情境將逐漸使得原來生長於低緯度的雜草往較高緯度的北方擴散 (Patterson *et al.* 1999)。本項試驗結果再指證以氣溫變因與雜草分佈最具相關性，10 個節氣栽植期合併分析的雜草族群數量當中，以尖瓣花最多並與累加溫度之間存有顯著的二次曲線關係，而且千金子及稗草亦在高溫下生長較為有利 (圖 5、圖 6)。

國內早期的雜草相調查 (Chiang & Leu 1982)，發現一期稻作經常出現的雜草種類為野茨菰、牛毛氈及水蜈蚣，二期稻作則為鴨舌草、紅骨草、尖瓣花及芒稷，與本研究所調查之草相略有出入。是否與氣候變遷或區域性分佈 (本研究僅限於臺中市霧峰區農業試驗所農場) 差異有關，尚待多年期試驗深入究明。1960 年代水田發生頻率最高的雜草依序為稗草 (69.1%)、鴨舌草 (68.3%)、球花蒿草 (53%) 及虻眼草 (31.4%) 等 (Hong 1976; Chiang *et al.* 2002)，除了虻眼草受除草劑壓力幾近消失外，前三類雜草目前仍可在中部水田發現。本研究合併各稻種田區及節氣栽植期資料發現，發生頻度最高依序為尖瓣花、滿天星、千金子及稗草 (圖 6)，以光合作用利用效率而言，除了稗草為 $C_4$ 型雜草外，其他三類為 $C_3$ 雜草 (Elmore & Paul 1983; Chiang & Chiang 2010)，似乎 $C_3$ 型雜草分佈高過 $C_4$ 型雜草。早期 $C_4$ 型的稗草是水田危害較為嚴重的雜草之一，排除除草劑篩選壓力及其他因素，若以氣候變遷及暖化趨勢進展角度來看，可能逐漸改變水田危害之雜草種類朝向 $C_3$ 型雜草演進。除了氣象變因之外，不同時代的耕犛及栽培操作未必相同，任何農耕措施都會因為造成雜草種子休眠或打破休眠、抑或干擾其生存與生活環境而影響雜草種類與數量 (Dyer1995; Andersson & Milberg 1998; Benech-Arnold *et al.* 2000)，須有更多的試驗來釐清時空因素及其複雜的交感。

證諸於目前氣候變遷及全球暖化趨勢，文明的持續發展使得地球難以避免朝向日益增溫的方向，勢將對於農業生產操作帶來不同以往的改變。為了減緩暖化情境的危機，吾人應當努力於減少各項農耕作業的能源消耗及碳排放，採行因應的調適與緩解策略來確保糧食安全與品質。本研究發現栽植期的調整將影響雜草的種類與數量，因此也勢將造成雜草管理上的差異，這方面的研究亦需配套進行。未來仍需收集更多資料來確認雜草相的變化，並建立一套完整的分析流程，提供日後雜草管理應用所需。

## 引用文獻 (Literature cited)


Agricultural Statistics Yearbook. 2009. Published by Council of Agriculture, Executive Yuan. Taipei. 332 pp.

Andersson, T. N. and P. Milberg. 1998. Weed flora and the relative importance of site, crop, crop rotation, and nitrogen. Weed Sci. 46:30–38.

Benech-Arnold, R. L., R. A. Sánchez, F. Forcella, B. C. Kruk, and C. M. Ghersa. 2000. Environmental control of dormancy in weed seed banks in soil. Field Crops Res. 67:105–122.

Bunce, J. A. 1997. Variation in growth stimulation by elevated carbon dioxide in seedlings of some $C_3$ crop and weed species. Global Change Biol. 3: 61–66.

Chiang, M. Y. and L. S. Leu. 1982. Weeds and weed damage of paddy field in Taiwan. Weed Sci. Bull. 3:18–46. (in Chinese with English abstract)

Chiang, M. Y. 1995. Paddy weeds in Taiwan: an overall view on flora, ecology and control. Plant Prot. Bull. 37:339–355. (in Chinese with English abstract)

Chiang, M. Y., Y. J. Chiang, and C. I. Yuan. 2002. Weed resistance and flora change induced by herbicides in Taiwan. p.25–30. *in*: Special Symposium on 40 Years of Herbicide Use in Taiwan. Weed Science Society of ROC. Taichung. (in Chinese with English abstract)

Chiang, M. Y., Y. J. Chiang, C. I. Yuan, L. M. Hsu, and F. Y. Chen. 2003. Current status and prospects of weed management of croplands in Taiwan. p.245–258. *in* the Proceedings of 2003 International Conference on Plant Health Management. Agriculture Development Foundation. Taipei. (in Chinese with English abstract)

Chiang, M. Y. and Y. J. Chiang. 2010. Potential impacts of climate change on agricultural land and environmental weeds in Taiwan. p. 99–116. *in* the Proceedings of the International Workshop on Climate Change and Food Crisis. Tainan District Agricultural Research and Extension Station, COA. Tainan, Taiwan. (in Chinese with English abstract)

Chiu, C. C. and W. C. Hong. 1982. A review of chemical weeding for paddy rice in central Taiwan. Weed Sci. Bull. 3:62–70. (in Chinese with English abstract)

Colbach, N., B. Chauvel, C. Durr, and G. Richard. 2002. Effect of environmental conditions on *Alopecurus myosuroides* germination. I. Effect of temperature and light. Weed Res. 42:210–221.

Dyer, W. E. 1995. Exploiting weed dormancy and germination requirement through agronomic practices. Weed Sci. 43:498–203.

Elmore, C. D. and R. N. Paul. 1983. Composite list of $C_4$ weeds. Weed Sci. 31:686–692.

Erice, G., J. J. Irigoyen, P. Pérez, R. Matínez-Carrasco, and M. Sánchez-Díaz. 2006. Effect of elevated $CO_2$, temperature and drought on dry matter partitioning and photosynthesis before and after cutting of nodulated alfalfa. Plant Sci. 170:1059–1067.

Hong, R. T. 1976. Investigation of weed flora on paddy fields in the Taichung district. Plant Prot. Bull. 18: 268–275. (in Chinese with English abstract)

IPCC. 2007. Summary for Policymakers. The Physical Science Basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press. UK. 996 pp.

Kimball, B. A. 1983. Carbon dioxide and agricultural yield: an assemblage and analysis of 430 prior observations. Agron. J. 75:779–788.

Kuo, W. H. 2004. Seed ecology and weed management. Weed Sci. Bull. 25:53–68. (in Chinese with English abstract)

Lee, Y. J., C. M. Yang, and C. L. Hsiao. 2009. Influence of climatic conditions on production of rice cultivar TNG 71. J. Taiwan Agric. Res. 58:45–54. (in Chinese with English abstract)

Lu, H. S., Y. H. Liu, and Central Weather Bureau. 2006. Environmental challenge and strategy for quality rice culture in Taiwan. Crop Environ. Bioinform. 3:297–306. (in Chinese with English abstract)

Lu, M. M., Y. L. Chen, and G. H. Chen. 2008. Impact of global warming trend on rice cultural environment in Taiwan. Crop Environ. Bioinform. 5:60–72. (in Chinese with English abstract)

Milberg, P. and L. Andersson. 1997. Seasonal variation in dormancy and light sensitivity in buried seeds of eight annual weed species. Can. J. Bot. 75:1998–2007.

Oechei, W. C. and B. R. Strain. 1985. Native species response to increased atmospheric carbon dioxide concentration. p. 117–154. *in*: Direct Effects of Increasing Carbon Dioxide on Vegetation. (Strain, B. R. and J. D. Cure, eds.) Dept. of Energy, DOE/ER-0238. Washington, DC. 286 pp.

Patterson D. T., J. K. Westbrook, R. J. V. Joyce, P. D. Lingren, and P. D. Rogasik. 1999. Weeds, insects, and diseases. Climate Change 43:711–727.

SAS Institute. 1998. SAS/STAT User's Guide. Version 8.1. SAS Inst., Cary, NC. USA. 3812 pp.

Tungate, K. D., D. W. Israel, D. M. Watson, and T. W. Rufty. 2007. Potential changes in weed competitiveness in an agroecological system with elevated temperatures. Environ. Exp. Bot. 60:42–49.

Yao, M. H., S. Chen, K. S. Chi, and J. C. Tsai. 2002. Estimating solar radiation from daily temperature data. J. Agric. Res. China. 51:73–83. (in Chinese with English abstract)

Zhang, J. H., Z. W. Fan, Y. D. Shen, and L. Z. Liu. 2009. Effect of different illumination on *Eupatorium odoratum* growth. J. Anhui Agri. Sci. 37:9967–9968. (in Chinese with English abstract)

Ziska, L. H. 2000. The impact of elevated $CO_2$ on yield loss from a $C_3$ and $C_4$ weed in field-growth soybean. Global Change Biol. 6:899–905.

Ziska, L. H. 2001. Changes in competitive ability between a $C_4$ crop and a $C_3$ weed with elevated carbon dioxide. Weed Sci. 49:622–627.

# Effect of Planting Date on Population and Density of Weeds in the Paddy Field [1]

Chiao-Ling Hsiao[2], Chwen-Ming Yang[2,3], and Yuh-Jyuan Lee[2]

## Abstract

Hsiao, C. L., C. M. Yang, and Y. J. Lee. 2011. Effect of planting date on population and density of weeds in the paddy field. J. Taiwan Agric. Res. 60:125–138.

Global warming and climate change has become a major issue on crop production and agricultural environment, including changes in population, density and distribution of weeds. A field study was conducted in 2009 at the experimental farm of Taiwan Agricultural Research Institute, Wufeng, Taichung, Taiwan to determine effects of planting date, in terms of temperature and solar radiation, on weed population and density in the spring crop (first crop of 2009) and the fall crop (second crop of 2009) of paddy rice (*Oriza sativa*). Seedlings (3–4 leaf-stage) of four quality rice cultivars, TY 4, TK 9, TNG 71 and KH 145, were transplanted into the paddy field at five different dates in each crop season. Data on accumulated values of daily mean air temperature (ADMAT), daily sunshine hours (ADSH) and daily irradiance (ADIR) of different planting periods in each crop season were recorded. The populations and densities of weeds were collected at 4 weeks after transplanting. Results showed that number of family and species of weeds increased significantly ($P < 0.05$) with increasing value of ADMAT for the cultivars TY 4 and TK 9. Number of family and species of weeds increased significantly ($P < 0.05$) with increasing value of ADIR for the cultivar TK9 but no significant difference ($P > 0.05$) with increasing value of ADSH for all cultivars tested. Results of pooled data of four rice cultivars showed that changes in number of family and species of weeds were correlated with these three meteorological parameters in a curvilinear trend. In the plots of all four rice cultivars, the most predominant weed species (with the highest density) in the first crop season was *Altemanthera sessilis*, followed by *Rotala indica,* whereas the most predominant weed species in the second crop season was *Sphenoclea zeylanica*, followed by *Ammannia multiflora*. Populations of these four weed species were curvilinearly correlated to changes of ADMAT. Results of combined data of both crop seasons (with 10 planting periods in total) showed that the population density was the highest for *Sphenoclea zeylanica,* followed by *Alternanthera sessilis*, *Leptochloa chinensis*, and *Echinochloa crus-galli* and the increase of population density was associated with the increase of ADMAT values. This study suggests that weed species and density in the first and second crops of paddy rice are affected by rice cultivars and values of ADMAT in the planting period.

**Key words:** Planting period, Rice paddy, Weed population, Weed density.

---

1. Contribution No. 2518 from Taiwan Agricultural Research Institute (TARI), Council of Agriculture. Accepted: May 10, 2011.
2. Respectively, Assistant Research, Researcher, and Assistant Researcher, Crop Science Division, TARI, Taichung, Taiwan, ROC.
3. Corresponding author, e-mail: cmyang@tari.gov.tw; Fax: (04)23317118.